Aus dem Hygienischen Institut der Universität Würzburg.
Vorstand: Professor Dr. M. K n o r r.

Über neue Beobachtungen der Grundwassertemperatur im Freien und im Laboratoriumsversuch

Inaugural-Dissertation
verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Gustav Rauch
Arzt aus Würzburg.

1939

Buchdruckerei Richard Mayr, Würzburg.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg.

Berichterstatter: Professor Dr. M. Knorr.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Meinen lieben Eltern.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543516_0052

Obwohl die Forderung einer gleichmäßigen, erfrischenden Temperatur eine der Hauptbedingungen ist, die die Hygiene an ein gutes Trinkwasser stellt, wurde die damit eng zusammenhängende Frage nach der Veränderlichkeit der Grundwassertemperatur in der Literatur recht stiefmütterlich behandelt. Das ist wohl darauf zurückzuführen, daß erst in jüngster Zeit durch die gewaltigen Fortschritte der Wohnungshygiene, wie Bäder usw., der Wasserverbrauch enorm gesteigert wurde, so daß das eigentliche Trinkwasser nur noch einen kleinen Anteil ausmacht.

Die frühere Ansicht, daß der Begriff „Grundwasser" schon die Unveränderlichkeit der Temperatur einschließt, muß längst als überholt gelten. So weißt z. B. M. E. A. Maertel[1]) darauf hin, daß unveränderliche Temperaturen nur in Grundwässern mit einer genügend dicken Deckschicht von feinkörnigem Boden vorkommen. Die Tiefe, in der Temperaturgleichheit herrscht, wird von Prausnitz[2]) mit 15—20, höchstens 30m angegeben. In 5m Tiefe betragen die Temperaturschwankungen nur noch einen Bruchteil von denjenigen der Luft. F. Nöthlich[3]) fand bei Messungen der Grundwassertemperatur in ca. 28m Tiefe während einer Beobachtungszeit von 13 Jahren nur geringe Schwankungen, die überdies denjenigen des örtlichen Jahresmittels gleichgerichtet sind. Er zitiert eine Stelle aus einer Veröffentlichung J. Stiny's in der es heißt, daß die Temperatur des Grundwassers vornehmlich von den Tiefen abhängt, in denen es sich bewegt. Seichtliegende Grundwasserströme unterlägen den jahreszeitlichen Schwankungen der Lufttemperatur, während in 20—30m Tiefe das Grundwasser eine konstante Temperatur besäße, die dem örtlichen Jahresmittel entspräche. Dieser Ansicht ist auch Keilhack[4]) wenn er sagt, daß gleichmäßige Temperatur — falls sie dem örtlichen Jahresmittel entspricht — ein Beweis dafür sei, daß sich das betreffende Wasser längere Zeit in einer Tief-

aufgehalten hat, die den jahreszeitlichen Schwankungen nicht mehr ausgesetzt ist. Diese Tiefe der annähernden Gleichheit von Bodentemperatur und örtlichem Jahresmittel gibt K. mit 20—20m an. Wörtlich fährt K. dann weiter: „Regelmäßige Schwankungen in der Temperatur zeigen an, daß sich das Wasser in der Nähe des Beobachtungsortes so nahe unter der Erdoberfläche befunden hat, daß es unter der Einwirkung der Sonnenbestrahlung eine Erwärmung, unter dem Einfluß der Winterkälte eine Abkühlung erfahren hat. Je größer die Schwankungen sind, die während eines Jahres zur Beobachtung gelangen, desto näher muß das beobachtete Wasser der Oberfläche liegen oder vor ganz kurzer Zeit gelegen haben. Fällt die höchste Temperatur des Wassers mit der wärmsten Jahreszeit, die niedrigste mit der kältesten Periode zusammen, so darf man schließen, daß die Beobachtungsstelle sehr nahe an dem Punkt liegt, an welchem die jahreszeitlichen Wärmeschwankungen das Grundwasser am unmittelbarsten beeinflussen. Verschieben sich aber die Zeiten, d. h. wird die größte Wärme des Grundwassers erst eine gewisse Zeit nach der größten Erwärmung an der Erdoberfläche beobachtet, die niedrigte Temperatur entsprechend lange nach der kältesten Periode des betreffenden Winters, so ist eine um so größere Entfernung des Beobachtungspunktes von dem Gebiete größter Annäherung des Wassers an die Erdoberfläche anzunehmen, und zwar um so mehr, je größer der Zeitunterschied wird".

Die entsprechenden Beobachtungen machte K. an einem Versuchsfeld in der Nähe Berlins. Aus diesen Beobachtungen folgert K. auch, daß sich die Temperatur nicht in der Richtung des Grundwasserstromes fortpflanzt, sondern sich von dem Punkte mit der geringsten Bodenbedeckung aus konzentrisch der Umgebung mitteilt.

Ed. Imbeaux[5]) gibt in ungefährer Übereinstimmung mit den anderen Autoren als Tiefe der gleichbleibenden und dem örtlichen Jahresmittel entsprechenden Boden und damit Grundwassertemperatur 15 m an. Er weist aber darauf hin, daß es Grundbedingung für diese Betrachtung ist, daß das Wasser lange genug im Boden verweilt haben muß.

Damit ist die Frage der Beeinflußung der Grundwassertemperatur durch Oberflächenwasser angeschnitten. Ein Musterbeispiel dieser Beeinflußung bringt Dienert[6]) in einer Beobachtung, wo die

Grundwassertemperatur getreulich die Schwankungen eines in der Nähe versickernden Oberflächenwassers mitmacht.

Es fehlt auch nicht an Vorschlägen, aus Temperaturmessungen auf die relativen Anteile von Grund- und Oberflächenwasser in einem gefördertem „Mischwasser" zu schließen.

So gibt K. Keilhack[4]) folgende Berechnung an:

Q sei die Menge des geförderten Wassers mit der Temp. t
Q_1 sei die Menge des darin enth. Flußwassers mit der Temp. t_1
Q_2 sei die Menge des darin ent. Grundwassers mit der Temp. t_2

Es ist nun $Q = Q_1 + Q_2$ und $Q \cdot t = Q_1 \cdot t_1 + Q_2 \cdot t_2$
Q und alle Temp. sind bekannt, folglich ist:

$$Q_1 = \frac{Q\,(t - t_2)}{t_1 - t_2}\,; \quad Q_2 = \frac{Q\,(t - t_1)}{t_2 - t_1}$$

Diese Formel könnte aber nur Gültigkeit haben, wenn das Flußwasser unmittelbar in das Grundwasser gelangen würde und keinerlei Temperaturausgleich mit den durchströmten Bodenschichten und der darüber liegenden Bodenbedeckung möglich wäre.

Der Beeinflussung der Oberflächenwassertemperatur durch die durchströmten Bodenschichten trägt Kurzak[7]) in einer Betrachtung Rechnung. Die Tatsache, daß bei der Förderung natürlich filtrierten Oberflächenwassers die Mindest- bzw. Höchsttemperaturen im geförderten Wasser 1—2 Monate später auftreten als im Oberflächenwasser, führt Kurzak auf die wärmespeichernde Wirkung des Wasserträgers zurück. Er errechnet mit Hilfe der spezif. Wärme des wassertragenden Bodens, sowie dessen cbm-Inhalt, aus der durchfließenden Oberflächenwassermenge und deren Temperatur sowie aus dem sich dazu gesellenden Grundwasser konstanter Temperatur die zu erwartende Temperatur des geförderten „Mischwassers". Auch er läßt noch den Einfluß der bedeckenden Bodenschichten auf die Grundwassertemperatur außer Acht. Dieser Einfluß wird auch schwerlich mit einer komplizierten Rechnung zu erfassen sein, da er von vielen Faktoren chemischer, physikalischer und atmosphärischer Natur abhängt. Es ist aber sicher falsch, wenn man diesen Einfluß für so gering ansieht, daß man ihn praktisch vernachlässigt.

In der vorliegenden Arbeit soll nun über die Beobachtung der Grundwassertemperatur an einem Versuchsfeld berichtet werden. Das Feld hat eine Länge von ca. 750m und eine Breite von ca. 400m und liegt im Tal eines schiffbaren Flusses. (S. Abb. 1).

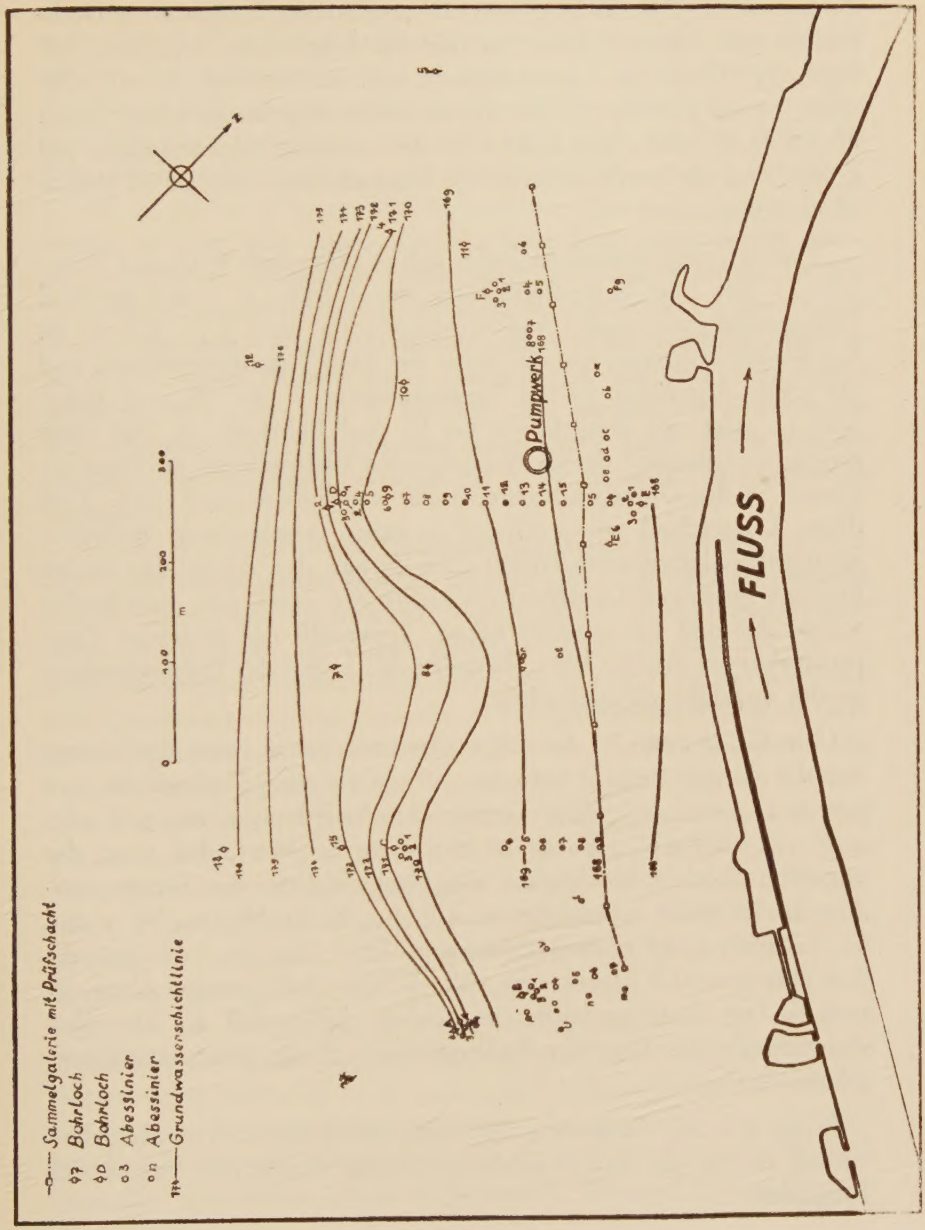
Das Gelände steigt von Nordosten nach Südwesten sanft an. In derselben Richtung fließt auch der Grundwasserstrom, während der Fluß fast senkrecht dazu von Südosten nach Nordwesten fließt.

In verschiedenen Profilen, hauptsächlich in der Richtung des Grundwasserstromes, wurden die zahlreichen, aus obiger Abbildung ersichtlichen Abessinier und Bohrlöcher niedergebracht. Die Temperaturmessungen wurden in der Zeit vom September 1937 bis Juni 1938 in ca. 8-tägigen Zeitabständen gemessen und zwar mit Minimum-Maximumthermometern. Alle Ergebnisse wurden für jede einzelne Meßstelle in Kurven übertragen, von denen nur einige aus den verschiedensten Gebieten des Versuchsfeldes hier wiedergegeben werden sollen. Gleichzeitig wurden die Wasserstände laufend gemessen und zwar jeweils von der oberen Rohrkante ab, sodaß aus diesen Maßen die Mächtigkeit der bedeckenden Bodenschichten ersichtlich ist. Vom 28. 7. 37 bis 20. 12. 37 wurden dem Versuchsfeld durch Pumpenförderung 70 Ltr./sec. entnommen. Da bei einigen der angeführten Meßstellen die Grundwasserstände nur zu dieser Zeit kontrolliert wurden, beziehen sich alle Grundwassermaße auf den durch die Förderung abgesenkten Grundwasserspiegel.

Die stärkste Bodenbedeckung befindet sich mit ca. 13m bei Bohrloch 12. Erwartungsgemäß ist hier die Amplitude der Temperaturschwankung gering (1,8°). Betrachten wir zum Vergleich Bohrloch 18 mit einer Deckschicht von ca. 8m, so ist hier wider Erwarten die Amplitude nicht größer, sondern sogar etwas kleiner. Da die Deckschichten in ihren oberen Teilen beide schwer durchlässig sind, die größere Schwankung bei 12 also nicht durch etwa in das Grundwasser gelangtes Oberflächenwasser bedingt sein kann, muß dieser Umstand mit den ungleichmäßigen thermischen Eigenschaften der Deckschichten seine Erklärung finden.

Wenn wir nun Bohrloch 17, 15, 4 und Abess. D_1 betrachten, die sich im Vergleich zu Bohrloch 12 und 18 ca. 120m abwärts im Sinne des Gefälles befinden, ergibt sich folgendes:

Abb. 1


Sammelgalerie mit Prüfschacht
Bohrloch
Bohrloch
Abessinier
Abessinier
Grundwasserschichtlinie
Pumpwerk
FLUSS
N
0
100
200
300
m

Bei einer Deckschicht von ca. 8m beträgt bei Bohrloch 17 die Amplitude 1,1°. Bei Bohrloch 15, D_1 und Bohrloch 4 mit einer Deckschicht von 5 bzw. 8 bzw. 7m sind die Amplituden 1,9° bzw. 0,8° bzw. 1,9°. Dabei ist bemerkenswert, daß bei Bohrloch 15 von Oktober 37 bis Februar 38 die Temperaturen durchwegs höher liegen als bei 17, D_1 und 4 und daß bei 17 die einzelnen Schwankungen viel größer sind als bei D_1, obwohl die Deckschichten annähernd gleiche Mächtigkeit haben.

Weitere 100m abwärts befinden sich A_1, Bohrloch 8, D_9 und Bohrloch 11 mit einer Bodenbedeckung von 3 bzw. 5, 6 und 6m und Temperaturunterschieden von 6,1°; 2,5°; 3,2° und 2,3°. Bei A_1 ist das Wasser arthesisch gestaut, daher der hohe Grundwasserstand und die große Amplitude in der Temperaturkurve. Bei D_9 und Bohrloch 11 zeigt sich ähnlich wie bei D_1 und Bohrloch 17, daß trotz gleicher Mächtigkeit der darüberliegenden Bodenschicht die Schwankungen in der Grundwassertemperatur verschieden groß sind. Daß dieser Unterschied seinen Grund in einer verschiedenen Bodenbeschaffenheit haben muß, erhellt auch daraus, daß die zu den beiden Brunnen gehörigen Grundwasserschichtlinien einen sehr verschieden weiten Abstand voneinander haben. Innerhalb der einzelnen Temperaturkurven sind die Schwankungen denjenigen der Lufttemperatur wieder ungefähr gleichgerichtet.

U, v, C_6, D_{14} und F_5, die sich wieder ungefähr in 100m Entfernung von der vorigen Gruppe befinden, weisen bei einer Deckschicht von 3,5; 4; 4; 4 und 4m größte Temperaturschwankungen von 3,8° 4,8°; 4,0°; 5,7° und 5,6° auf. Es ist nun bemerkenswert, daß trotz der ungefähr gleichen Mächtigkeit der Deckschichten die Temperatur-Amplituden recht verschieden sind und z. B. die Minima bei v und C_6 durchaus nicht zeitlich zusammenfallen. Dagegen verlaufen die Temperaturen der beiden sehr nahe beieinanderliegenden Abess. F_7 und F_8 fast deckungsgleich, ein Zeichen dafür, daß die hier über dem Grundwasser liegenden Bodenschichten gleiche thermische Eigenschaften haben.

Wenn wir nun die noch weiter flußwärts gelegene, von den Abessiniern B_7, C_9, E_4 und b gebildete Gruppe betrachten, ergibt sich folgendes:

Die Bodenbedeckung beträgt in der obigen Reihenfolge 4,5; 4,5; 4 und 4m, die entsprechenden größten Temperaturschwankungen 3,6°; 5,3°; 8,4° und 11,6°. Der erste Gedanke ist wohl der, daß die großen Schwankungen von 8,4° bzw. 11,6° bei E_4 und b durch Flußfiltrat bedingt seien, zumal ja diese beiden Abessinier viel näher am Fluß liegen, als B_7 und C_9. Dies wäre auch möglich, wenn der Grundwasserträger eine so große Durchlässigkeit besäße, daß Flußwasser in großen Mengen und in kürzester Zeit nach E_4 und b gelangen könnte. Bei einem feinkörnigen Grundwasserträger aber, wo das Wasser Gelegenheit findet, seine Temperatur an der riesigen Oberfläche auszugleichen, ist eine so starke Beeinflussung der Grundwassertemperatur durch Flußfiltrat allein doch ziemlich unwahrscheinlich. Diese Ansicht deckt sich auch mit der oben angeführten Behauptung K e i l h a c k 's, daß sich die Temperatur nicht in der Richtung des Grundwasserstromes fortpflanze. Besser lassen sich die großen Temperaturschwankungen bei E_4 und b wohl folgendermaßen erklären:

Bei der durch die Wasserförderung bedingten Absenkung ist zwar der Grundwasserspiegel gesenkt worden, aber die darüber liegende, vorher noch vom Grundwasser durchströmte Schicht bleibt noch lange Zeit kapillar mit Wasser gesättigt. Daß nun diese Schicht infolge ihrer guten Leitfähigkeit und ihrer geringen Entfernung von der Oberfläche den Schwankungen der Lufttemperatur stark ausgesetzt sein muß, ist einleuchtend. Da aber die Flußtemperatur der Lufttemperatur gleichgerichtet ist, was aus einem Vergleich der beiden ausgeglichenen Fluß- und Lufttemperaturkurven eindrucksvoll veranschaulicht wird, so hat das Flußfiltrat keine Möglichkeit, seine Temperaturschwankungen genügend auszugleichen, weil ein zu geringes Temperaturgefälle nach den überdeckenden Schichten hin vorhanden ist. Noch deutlicher und für diese Ansicht sprechend ist in dieser Hinsicht der Verlauf der Temperaturkurve bei E, wo nach Aufhören der Förderung der Grundwasserspiegel bis zu 50 cm unter die Erdoberfläche anstieg. Bei einer starken Erhöhung der geförderten Wassermenge wäre also zu erwarten, daß größere Mengen Flußfiltrat mit großen Temperaturschwankungen angesaugt würden. Die notwendige Folge wäre eine bedenkliche Verschlechterung des Wassers besonders hinsichtlich seiner erfrischenden Wirkung in den warmen

Sommermonaten. Eine genügend starke überdeckende Bodenschicht würde dieses Übel zumindest sehr stark herabmindern, da ja dann ein Temperaturausgleich zwischen ihr und dem warmen Flußfiltrat stattfinden könnte.

In diesem Zusammenhang wurde zur Bestimmung der Grundwassergeschwindigkeit in der Richtung vom Fluß zur Sammelgallerie bei E im Abstand von 10 Tagen Fluorescein und Kochsalz eingebracht. Dabei ergab sich für den Fluoresceinversuch eine Grundwassergeschwindigkeit von 7m / Tag und für den Salzversuch von 3,6m / Tag. Die Tatsache, daß sich der Grundwasserstrom nicht senkrecht zur Sammelgallerie, sondern klar nach Westen bewegt, läßt auf die uneinheitliche Beschaffenheit des durchströmten Bodens schließen. Diese gibt aber ihrerseits wieder eine hinreichende Erklärung für die geringen Unterschiede im Verlauf der Temperaturkurven einzelner Abessinier trotz deren gleich dicker überdeckenden Bodenschicht.

Da nun das Temperaturminimum des Flusses am ersten Januar, dasjenige des Grundwassers bei E erst am 19. Februar erreicht wird, liegt der Schluß nahe, daß die Flußtemperatur für die Strecke Fluß-E, die ca. 65 m beträgt, 50 Tage benötige, sich also mit einer Geschwindigkeit von 1,3m / Tag in der Strömungsrichtung fortpflanze. Das wäre auch eine schöne Bestätigung für den Satz, daß „die Temperaturwelle der Grundwasserwelle zeitlich hintennachhinkt". Wie soll dann aber der Umstand erklärt werden, daß bei E_4 und b, die — auf E bezogen — noch weitere 30 bzw. 40m vom Fluß entfernt sind, das Minimum zu genau dem gleichen Zeitpunkt erreicht wird, wie bei E, obwohl man die „nachhinkende Temperaturwelle" dort erst 23 bzw. 31 Tage später erwarten müßte?. Diese Tatsache spricht aber nicht nur nicht für die Ansicht, daß sich die Temperatur in Richtung des Grundwasserstromes fortpflanze und diesem in der Geschwindigkeit nur nachhinke — und für die aus dieser Beobachtungsweise gezogenen Schlüsse und aus ihr abgeleiteten Berechnungen —, sondern direkt dagegen.

Es wäre aber nicht damit gedient, wenn man die Unzuverlässigkeit einer Ansicht beweisen wollte, ohne selbst eine einleuchtende Erklärung zu finden. Diese soll im Folgenden gegeben werden:

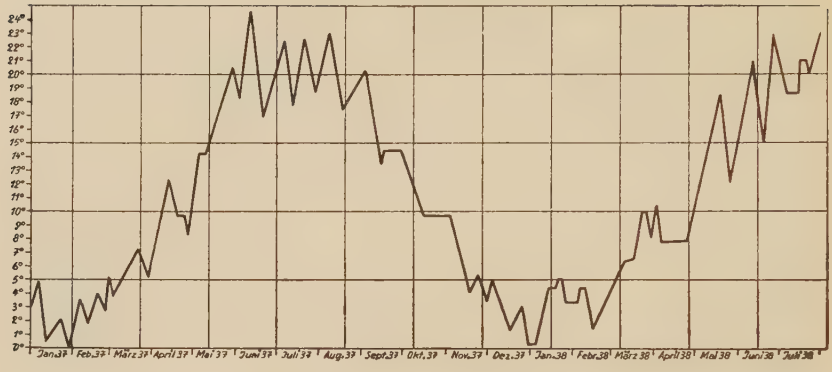
Die drei oben angeführten Meßstellen haben eine ungefähr gleich starke Deckschicht. (Die kleine Differenz, die zwischen E_4 und b

einerseits und E andererseits besteht, kann in thermischer Beziehung leicht durch die verschiedenartige Struktur des Bodens, die hier zweifellos besteht, ausgeglichen werden). Daß es nun diese überdeckende Bodenschicht sein muß, die das Nachhinken der Temperatur verursacht, geht aus der Veröffentlichung der Resultate der forstlichen Versuchsstationen im Königreich Bayern durch Ebermayer[8]) hervor, der auf Grund sehr sorgfältiger Untersuchungen die Beobachtung machte, daß in einer Tiefe von ungefähr 120 cm das Temperaturminimum des Bodens gegenüber der Oberfläche schon um etwa 1 Monat verzögert wurde. Dabei ist noch bemerkenswert, daß Ebermayer fand, daß nicht nur die Bodenbeschaffenheit, sondern auch die Vegetation einen Einfluß auf die Größe dieser Verzögerung hat und z. B. im Waldboden das Minimum später erreicht wird, als im freien Feld.

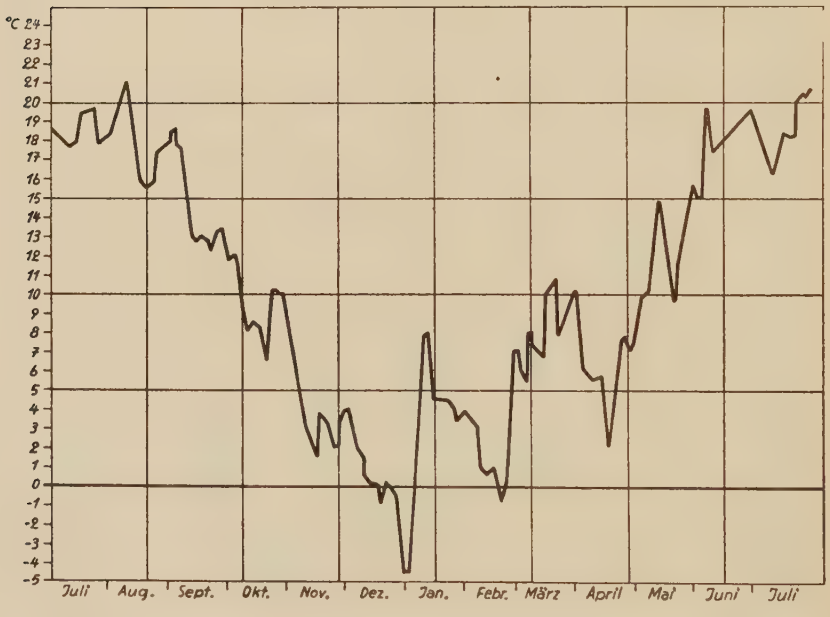
Eine weitere Bestätigung dafür, daß die Dicke der bedeckenden Bodenschichten für das Nachhinken der Temperatur verantwortlich sind, liegt auch in der Tatsache begründet, daß z. B. bei Bohrloch 8 und D_9 mit einer Bodenbedeckung von 5—6m die Minima erst im März-April erreicht werden. Aus den obigen Erwägungen kann nun folgender Schluß gezogen werden:

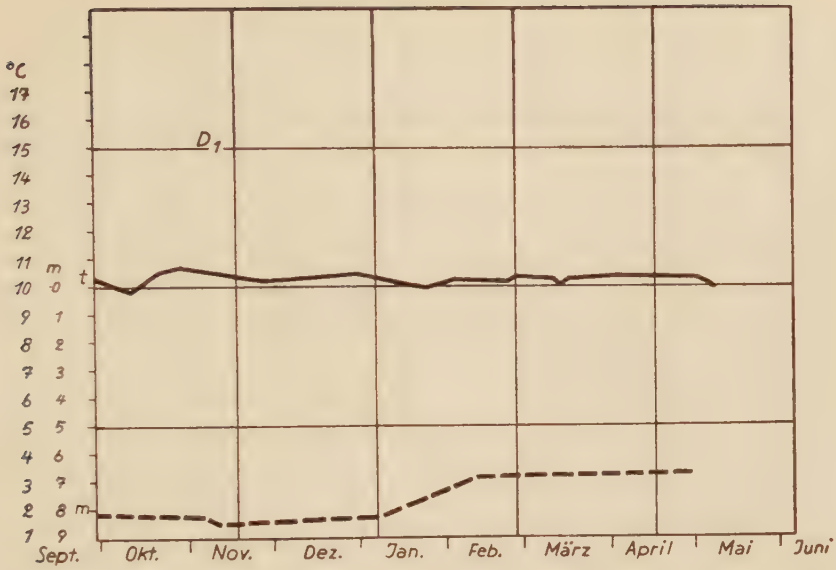
Das angebliche Nachhinken der Temperatur hinter der Geschwindigkeit des Grundwassers ist in Wirklichkeit ein zeitliches Nachhinken der Bodentemperatur in tieferen Schichten hinter derjenigen an der Oberfläche. Daraus ergibt sich, daß sich bei Zufluß von Oberflächenwasser die größten jährlichen Schwankungen der Grundwassertemperatur immer dort befinden, wo das eben ankommende Oberflächenwasser mit der niedrigsten bzw. höchsten Temperatur der betreffenden Bodenschichten zusammentrifft. Dieser Fall tritt aber besonders leicht in Flußtälern auf, wo vom Fluß nach der Brunnenfassung zu die Deckschichten langsam an Mächtigkeit zunehmen, so daß bei einer bestimmten Geschwindigkeit das kalte, bzw. warme Flußwasser auf seinem ganzen Wege immer mit Bodenschichten in Berührungen kommt, die infolge ihrer verzögernden Wirkung gerade ihr Temperaturminimum bzw. Maximum erreichen. Daraus ergäbe sich auch die praktische Möglichkeit, durch genügende Auffüllung der Deckschichten in der Uferzone die jeweiligen Minima bzw. Maxima im Oberflächenwasser und im Boden zeitlich so auseinander-

Fluß-Temperatur

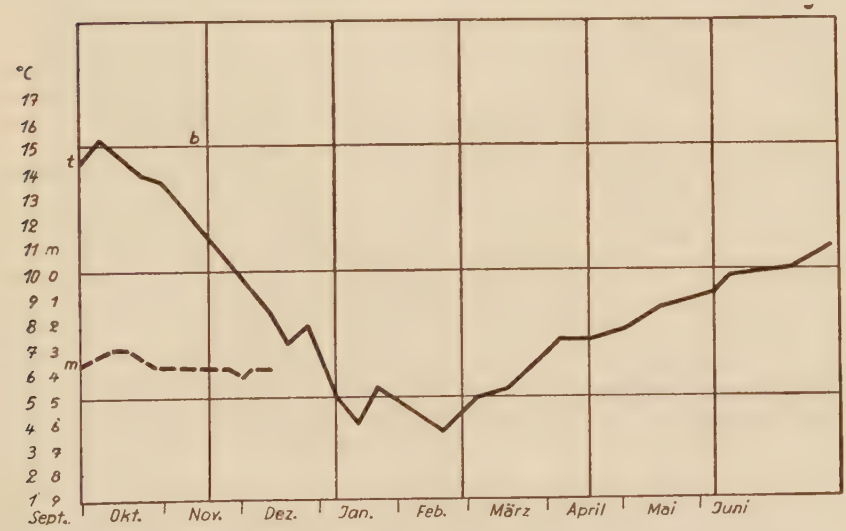


Luft-Temperatur

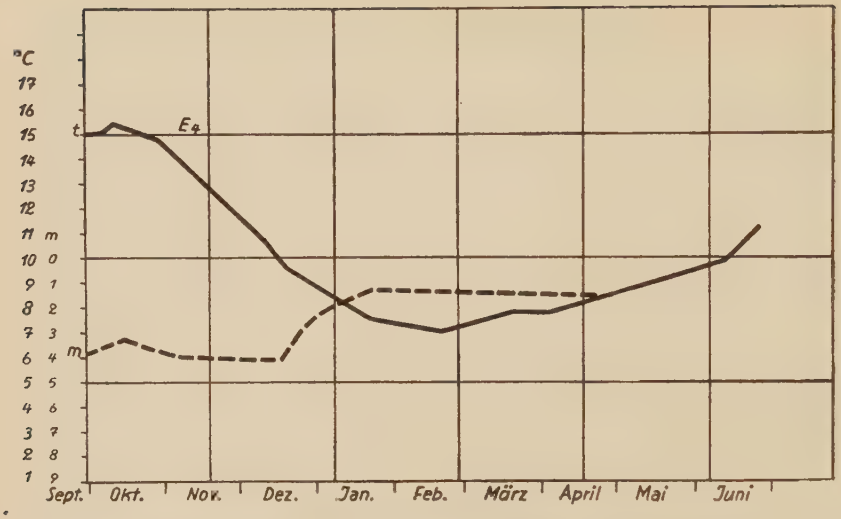




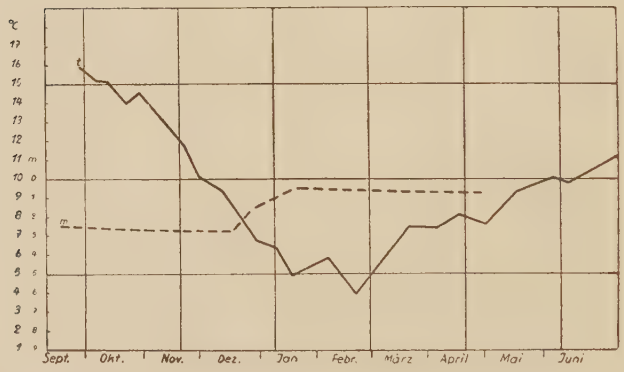
Temperatur und Grundwasserstand im Abessinier D_1



Temperatur und Grundwasserstand im Abessinier b



Temperatur und Grundwasserstand im Abessinier E_4



Temperatur und Grundwasserstand im Abessinier E

zuziehen, daß ein mittelbarer oder unmittelbarer Einfluß des Oberflächenwassers auf die Grundwassertemperatur ausgeschaltet wird. Aus diesen Erwägungen heraus ist es auch erklärlich, daß ein Anteigen des Oberflächenwasserspiegels z. B. durch Staustufen verursacht, eine ungünstige Beeinflussung der Temperaturverhältnisse zur Folge haben muß.

Es kann auch der Einwand gemacht werden, daß die Grundwassertemperatur nur während des Pumpens von der Flußtemperatur beeinflußt wird, weil ja nur dann Flußwasser in das Grundwasser gelangen kann. Dem ist folgendes entgegenzuhalten: In diesem Falle müßte bei der in Richtung des Grundwasserstromes 90m vom Fluß entfernten Meßstelle E der Temperaturabfall in der Zeit vom 1. 11. 37 — 19. 12. 37 größer sein als bei den in derselben Richtung 150m entfernten Meßstellen E_4 und b. Weiterhin müßten nach Aufhören der Pumpenförderung zuerst bei E_4 und b dann auch bei E die Temperaturen ansteigen, weil ja dann das um diese Zeit noch viel wärmere Bergwasser zum Fluß hinströmt und das Flußwasser verdrängt oder sich zum mindesten mit ihm vermischt.

Dies trifft aber keineswegs zu, denn

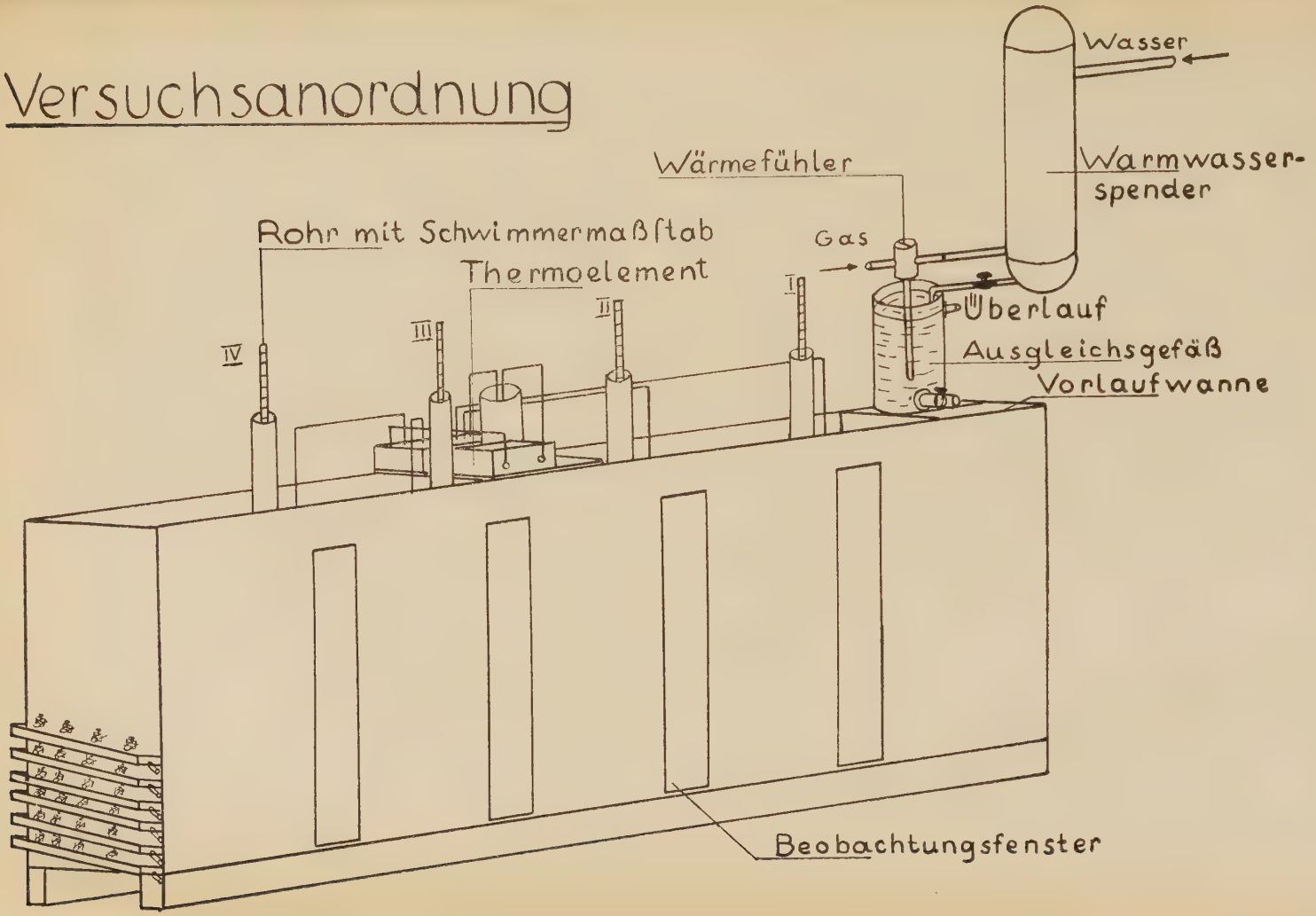
1. ist der Temperaturabfall vom 1. 11. 37 — 19. 12. 37 bei E mit 6,0° sogar etwas niedriger als bei b mit 6,4° in derselben Zeit, während er bei E_4 mit 5,1° zwar etwas niederer ist, was sich aber mit einem geringen Unterschied in der Beschaffenheit der bedeckenden Bodenschichten leicht erklären läßt.
2. Steigt die Temperatur nach Aufhören der Pumpenförderung bei E, E_4 und b nicht an, sondern fällt sogar an allen 3 Meßstellen beträchtlich bis zum 18. Februar.

Auch diese Tatsachen sind weitere Beweise dafür, daß — ein vom hygienischen Standpunkt aus genügend filtrierender Boden vorausgesetzt — der Einfluß des Oberflächenwassers auf die Grundwassertemperatur praktisch gleich Null ist und daß allein der Boden für den Verlauf der Grundwassertemperatur in den oberen Bodenschichten verantwortlich sein muß.

Außerdem wurden zur Erlangung einer genaueren Kenntnis von der Fortpflanzung der Temperatur in der Strömungsrichtung des Grundwassers mit der in Abb. 2 dargestellten Anordnung Durchlauf-

Abb. 2

Versuchsanordnung



versuche angestellt. In einem 5m langen, 0,35m breiten und 0,8m hohen Kasten, der innen mit Zinkblech ausgeschlagen ist, befinden sich in einem Abstand von je 1m die vier in ihrem unteren Teil gelochten Rohre I—IV, in denen zur Kontrolle des Wasserstandes leicht bewegliche Schwimmermaßstäbe gleiten. Beim Einlauf ist von oben bis etwa in die Hälfte reichend eine Scheidewand eingelassen. Von dieser Scheidewand ab ist der Kasten in seiner ganzen Länge bis zu einer Höhe von 65cm mit Sand gefüllt. In diesem Sand befinden sich, vom Einlauf aus gemessen, in einem Abstand von 0,25; 0,90; 2,25 und 3,40m und 10cm vom Boden entfernt die 4 Lötstellen eines Thermoelementes. Am Ende des Kastens sind bis zu einer Höhe von 45 cm in gleichmäßigen Abständen ca. 50 Gummiröhrchen mit Quetschhahn angebracht, um ein gleichmäßiges Abfließen des Wassers aus dem ganzen wasserführenden Querschnitt zu ermöglichen. Am oberen Ende läuft warmes Wasser aus einem Warmwasserspender in ein Ausgleichsgefäß, das zur Konstanterhaltung der Zuflußmenge notwendig ist, und von da in die Vorlaufwanne, die in ihrem unteren Teil frei mit der Sandfüllung des übrigen Kastenraumes kommuniziert. Während der Versuche wurde bei einer Neigung des Kastens von 1 : 50 der Wasserstand ungefähr auf halber Höhe der Sandfüllung gehalten. Die drei durchgeführten Versuche, von denen hier der letzte beschrieben werden soll, zeigten fast völlig gleiche Ergebnisse. Geringe Abweichungen wie sie z. B. durch Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt der Luft hervorgerufen werden können, müssen unberücksichtigt bleiben. Der Versuch wurde vom 11. 7. 39—29. 7. 39 durchgeführt und zeigte folgenden Verlauf:

Die zu- und abfließende Wassermenge betrug 100ccm / Min., eine Menge, die auf den Rauminhalt des Grundwasserträgers bezogen sicher auf die Dauer keinem Einzugsgebiet entnommen werden kann. Die Temperatur des aus dem Ausgleichsgefäß zulaufenden Wassers schwankte um 55°, diejenige der Vorlaufwanne um 45°. Die Temperatur wurde an den ersten drei Tagen alle 2 Stunden, von da ab in etwas größeren Zeitabständen abgelesen. Die Ergebnisse wurden in Kurvenform dargestellt. Der Verlauf der einzelnen Kurven ist aus Abb. 3 ersichtlich. Es zeigte sich folgendes:

5 Stunden nach Versuchsbeginn stieg die Temperatur an der Lötstelle 1 in 0,25m Entfernung von der Vorlaufwanne erstmals über die

Abb. 3

10
15
20
25
30
35
40
45
50
Wanne
I
II
Luftteмp.
kaltes Wasser
Versuch abgestellt

Lufttemperatur des Versuchsraumes, um dann steil anzusteigen und mit einer Differenz von ca. 2° dem Verlauf der Temperatur in der Vorlaufwanne fast getreulich zu folgen. Bei Lötstelle 2 in 0,90m Entfernung von der Wannenwand stieg die Temperatur erst nach 12 Stunden erstmals über die Lufttemperatur um ebenfalls noch ziemlich steil anzusteigen und mit einer Differenz von 9—10° der Temperatur in der Vorlaufwanne gegenüber dieser wieder gleichgerichtet zu verlaufen. Es ist nun bemerkenswert, daß schon nach weiteren 5 Stunden die Temperatur des trockenen oberflächlichen Sandes über der Lötstelle 2 die Lufttemperatur um 5° übersteigt und dieses Temperaturgefälle so lange bestehen bleibt, als warmes Wasser zufließt.

Die Temperatur der Lötstelle 3 in 2,25m Entfernung steigt erst 31 Std. später (nach Verschusbeginn) und zwar schon etwas weniger steil an und verläuft dann mit einer weiteren Differenz von 6—7° den vorigen Temperaturen ebenfalls annähernd gleichgerichtet. Bei der Lötstelle 4 in 3,40m Entfernung steigt die Temperatur erst nach 53 Std. an, aber noch nicht über die inzwischen ebenfalls gestiegene Lufttemperatur. Der Anstieg erfolgt sehr träge, die Temperaturen liegen durchwegs noch 3° niedriger als bei Lötstelle 3 und erheben sich auch im weiteren Verlauf nur wenig über die Lufttemperatur. Es besteht somit zwischen der Temperatur der Vorlaufwanne und der Temperatur der nur 3,40m in Richtung des Grundwasserstromes entfernten Lötstelle 4 ein Temperaturunterschied von ca. 20°.

Die Sandtemperaturen an der Oberfläche sollen nun von dem Zeitpunkt ab etwas näher betrachtet werden, wo kaltes Wasser zufließt und in der Vorlaufwanne eine um 17° schwankende Temperatur vorhanden ist. So liegt nach 17 Std. vom Zulauf kalten Wassers an gerechnet die Sandtemperatur an der Oberfläche bei der Lötstelle 1 mit 24° noch 1,5° über der Lufttemperatur, während die Wassertemperatur an derselben Stelle bereits auf 21° gesunken ist. Bei Lötstelle 2 beträgt die Sandtemperatur zur selben Zeit noch 28,4°, die Wassertemperatur ist auf denselben Wert gesunken. Nach 24 Std. liegt die Sandtemperatur bei Lötstelle 1 mit 22° schon mehr als 1° unter der Lufttemperatur während die Wassertemperatur hier nun auf 19° gesunken ist. Gleichzeitig beträgt die oberflächliche Sandtemperatur bei Lötstelle 2 noch 26°, liegt also fast 3° über der Lufttemperatur,

während die entsprechende Wassertemperatur ebenfalls 26° beträgt, also der Sandtemperatur immer noch gleich ist. Erst nach 39 Std. liegt auch bei Lötstelle 2 die oberflächliche Sandtemperatur mit 22° um 1° unter der Lufttemperatur während die zugehörige Wassertemperatur inzwischen auf 20,5° gesunken ist.

Die gleichen Verhältnisse in etwas abgeschwächterem Maße sind auch noch bei Lötstelle 3 zu beobachten, während bei Lötstelle 4 die oben geschilderten thermischen Wechselbeziehungen zwischen dem Wasser und der darüber liegenden Sandschicht wegen der ohnehin schon geringen Schwankung der Wassertemperatur nicht mehr so gut wahrzunehmen sind.

Die Ergebnisse dieser Durchlaufversuche mit warmen Wasser, mögen sie auch nur einen sehr kleinen Ausschnitt aus den Vorgängen im gewachsenen Boden darstelen, lassen doch den Schluß zu, daß eine Fortpflanzung der Temperatur in Richtung der Grundwasserströmung bei nicht allzu klüftiger Beschaffenheit des Grundwasserträgers praktisch unmöglich ist, wenn ein Temperaturausgleich mit den überdeckenden Bodenschichten stattfinden kann.

Wenn man nun analog den Freilandversuchen die Geschwindigkeiten des Wassers und der Temperatur in der obigen Versuchsanordnung betrachtet, so ergibt sich, daß

1. eine in die Vorlaufwanne eingebrachte alkoholische Lösung von 2 gr Fluorescein die Strecke von 4,80 m (Vorlarfwanne — Kastenende) in 39 Std. zurücklegt, was einer Geschwindigkeit von ca. 3 m/Tag entspricht.

2. Eine 10 Tage nach dem Fluoresceinversuch ebenfalls in die Vorlaufwanne gebrachte Aufschwemmung von 10 Schrägagarröhrchen 48 Std. alter Prodigiosumkulturen dieselbe Strecke in 34 Std. passierte. Das etwas frühere Erscheinen der Bakterien im Vergleich zum Fluorescein kann rein mengenmäßig bedingt sein, so daß z. B. nach 34 Std. schon eiinge Bakterien am Kastenende nachweisbar waren, während zu dieser Zeit die Fluoresceimengen am Kastenende noch nicht die kleinstnachweisbare Größe erreicht hatten.

Wenn wir nun die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Temperatur in der Strömungsrichtung betrachten, so tritt z. B. bei Lötstelle 3 die

erste Erwärmung nach 34 Std. auf, was einer Geschwindigkeit von 1,60 m/Tag entspricht. Es ist also auch hier ein Nachhinken der Temperatur hinter der Grundwassergeschwindigkeit vorhanden. Aber schon bei Lötstelle 4 in einer Entfernung von 3,40 m von der Vorlaufwanne wird dieses Nachhinken so groß und die Temperaturerhöhung so gering, daß praktisch von einer Fortpflanzung der Temperatur in der Strömungsrichtung nicht mehr die Rede sein kann.

Zusammenfassend kann über die Ergebnisse der Beobachtungen folgendes gesagt werden:

1. In einem Einzugsgebiet reicht bei einem Boden mit guter Filterwirkung im allgemeinen eine Deckschicht von 7—8 m aus, um die Schwankungen der Grundwassertemperatur in für ein gutes Trinkwasser erträglichen Grenzen zu halten.

2. Für Trinkzwecke genügend filtriertes Oberflächenwasser das zur Wasserversorgung herangezogen wird, hat auf die Temperatur des Grundwassers keinen Einfluß. Die bedeckenden Bodenschichten sind es, die allein für die Schwankungen der Grundwassertemperatur und die zeitliche Verschiebung deren Minima und Maxima verantwortlich sind.

3. Die Ansicht, daß sich die Temperatur des Oberflächenwasserfiltrates in der Strömungsrichtung fortpflanze und der Strömungsgeschwindigkeit nur nachhinke, ist irrig, weil keine der Beobachtungen dafür, viele aber direkt dagegen sprechen, daß sich die Grundwassertemperatur überhaupt in der Strömungsrichtung fortpflanzt. Damit sind aber auch alle aus dieser irrigen Betrachtungsweise gezogenen Schlüsse und aus ihr abgeleiteten Berechnungen zumindest als äußerst unzuverlässig zu bezeichnen.

4. Als praktische Folgerung aus den Beobachtungen ergibt sich die Möglichkeit, bei einer Wasserversorgung mit Oberflächenwasserfiltrat durch Auffüllung der Uferzone oder Absenkung des Oberflächenspiegels die Minima bzw. Maxima der Temperatur des Bodens und des Oberflächenwassers zeitlich so auseinanderzuziehen, daß die Temperaturschwankungen des Grundwassers in erträglichen Grenzen gehalten werden. Um eine noch genauere Kennt-

nis über den Einfluß der bedeckenden Bodenschichten auf die Grundwassertemperatur zu gewinnen, müßten weitere Durchlaufversuche in der beschriebenen Art mit Deckschichten von verschiedener Mächtigkeit und Korngröße gemacht werden.

Es sei mir gestattet, noch einmal an dieser Stelle meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. M. K n o r r für die Überlassung des Themas, sowie seine stete Hilfe und die vielen Anregungen bei der Ausarbeitung meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Ich versichere hiermit ehrenwörtlich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfaßt und auch keine anderen Quellen als die angegebenen benutzt habe.

Gustav R a u c h.

		12	18	17	15	4	A 1	8	D 9	11	u	v	C 6	D 14	F 5	F 7	F 8	B 7	C 9
Oktbr.	Max.	10,5	10,6	10,8	12,0	10,9	14,3	11,5	11,9	11,5	12,8	13,3	12,2	12,6	12,4	12,2	12,2	12,4	12,6
	Min.	10,0	10,2	10,2	11,0	9,9	11,7	11,4	10,8	10,3	12,2	13,0	12,0	11,9	12,1	11,0	11,0	11,8	12,5
Novbr.	Max.	10,4	10,5	10,6	11,5	10,6	12,3	11,4	11,8	11,4	12,7	13,0	12,2	12,5	12,3	12,0	12,0	12,3	12,5
	Min.	9,7	10,0	10,5	10,7	9,3	10,9	10,8	11,0	10,2	11,8	12,0	11,5	11,4	11,2	11,0	11,0	11,8	11,5
Dezbr.	Max.	10,0	10,3	11,0	11,5	10,1	11,0	10,8	11,0	10,7	11,8	12,0	11,7	11,4	11,2	12,0	12,0	11,8	11,5
	Min.	9,5	9,8	9,9	10,8	9,5	9,8	10,2	10,0	10,0	11,3	10,2	10,4	9,8	9,6	9,9	10,0	9,5	10,1
Jan. 38	Max.	10,1	10,9	11,0	11,3	10,5	9,7	10,7	10,2	10,8	11,3	10,2	10,4	9,7	9,6	10,5	10,5	9,5	10,1
	Min.	9,7	10,2	10,0	10,5	9,8	8,2	10,1	9,9	9,8	9,8	9,7	8,0	7,7	6,9	7,1	7,1	9,0	8,2
Febr.	Max.	9,9	10,8	10,5	11,1	9,6	8,6	10,2	9,9	10,0	10,1	9,7	8,9	7,7	7,5	7,1	7,1	9,8	8,5
	Min.	9,7	10,4	10,2	10,5	9,0	8,3	9,2	9,0	9,2	9,0	8,5	8,2	6,9	7,2	6,3	6,1	8,9	8,0
März	Max.	10,1	11,0	10,6	10,8	10,2	9,3	9,5	9,5	10,0	9,6	9,5	8,9	8,0	7,8	8,0	8,0	10,1	8,0
	Min.	9,8	10,2	10,3	10,1	9,4	8,3	9,0	8,7	9,6	9,2	8,5	8,1	6,9	7,1	6,9	7,1	8,8	7,2
April	Max.	10,6	11,1	10,3	10,4	10,4	9,5	9,5	9,2	9,8	9,6	9,0	10,0	8,2	8,5	8,0	8,1	9,5	9,9
	Min.	10,0	10,5	10,2	10,2	9,7	9,2	9,0	8,8	9,5	9,1	8,5	8,5	8,0	7,8	7,6	7,9	9,0	8,2
Mai	Max.	11,0	11,1	10,4		10,0	9,3	9,5	9,2	10,1	10,2	9,3	10,7	9,0	9,5	9,0	9,2	10.4	10,7
	Min.	10,3	10,5	10,2		9,5	10,3	9,1	8,9	9,5	9,5	9,0	9,5	8,2	8,5	8,0	8,2	9,5	9.9
Juni	Max.	11,3	11,3	10,5		10,0	10,4	9,8	9,0	10,5	10,5	9,8	10,8	11,5	11,2	11.1	11,1		
	Min.	10,8	10,7	10,4		9,8	10,3	9,5	10,0	9,9	10,2	9,3	9,5	9,0	9,3	9,0	9,1	9,8	
Ampl.		1,8	1,5	1,1	1,9	1,9	6,1	2,5	3,2	2,3	3,8	4,8	4,0	5,7	5,6	5,9	6,1	3,6	5,3
Bodenb. m		13	8	8	6	7	3	5	6	6	3,5	4	4	4	4	3,5	3,5	4,5	

Literatur.

1. M. E. A. Martel, C. R. de l'Académie des Sciances 1913 Ste. 741.
2. Prausnitz, Handbuch der Hygiene v. Rubner, Gruber, Ficker 1911, Bd. I Ste. 538.
3. F. Nöthlich, Gesundheits-Ingenieur 1938 Ste. 365.
4. K. Keilhack, Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde 1935 Ste. 101.
5. Ed. Imbeaux, Qualités de l'eau 1935.
6. Dienert, Bulletin de la Société Belge de Géologïé März 1904.
7. Kurzak, Journal f. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1913. Ste. 593.
8. Ebermayer, die Physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden und seine klimatische und hygienische Bedeutung, Aschaffenburg 1873.

Lebenslauf.

Am 24. 9. 1913 wurde ich als Sohn des Kunstmalers Gustav Rauch und dessen Ehefrau Martha geb. Pfisterer in Zürich geboren.

Ich besuchte die Volksschule in Unterweid (Rhön) und Lauterbach (Oberhessen), die Realschule in Lauterbach, die Oberrealschule in Vacha (Rhön) und Würzburg, wo ich an Ostern 1933 die Reifeprüfung ablegte. Das medizinische Studium begann ich im S.S. 33 in Würzburg, wo ich auch alle übrigen Semester belegte und am 28. 5. 1939 das medizinische Staatsexamen mit Note 1 bestand.

Vom 1. 6. 39 bis 30. 9. 39 war ich als Medizinalpraktikant am Hygienischen Institut der Universität Würzburg beschäftigt.

Die Bestallung als Arzt erhielt ich am 20. September 1939.